

## VEDA JE SÚČASŤOU KULTÚRY

### SCIENCE IS A PART OF THE CULTURE

Prednáška pred vedeckou radou Elektrotechnickej fakulty ŽU

Ivan Turek

Katedra fyziky Elektrotechnickej fakulty ŽU, Univerzitná 1, 010 26 Žilina

**Abstrakt** V príspevku sa poukazuje na súvis prírodných vied a rôznych aspektov života spoločnosti s dôrazom na súvis fyziky a matematiky s technickými vedami. Zdôrazňuje sa, že v dobe prudkého rozvoja techniky je potrebné pri výuke technických disciplín vychádzať z prírodovedného (matematického a fyzikálneho) základu.

**Summary** The contribution points on relation between sciences and various aspects of the life of a society. The relation of physics and mathematics with technical disciplines is stressed. It is accented that technical education should be based on a mathematical and physical base. Mainly in time when development of technology is so fast.

Celý život som bral vážne že som fyzikom. A vyše 40 rokov čo pôsobím na tejto škole som bral vážne, že som fyzikom na technickej škole. Preto som sa zamýšľal nad tým čo je fyzika ako i nad tým, ako fyzikálne poznanie súvisí s ostatnými zložkami činnosti spoločnosti – s jej kultúrou v najširšom slova zmysle – to znamená s technikou, ktorá je podstatnou súčasťou ekonomiky spoločnosti, ale i s ekológiou a dokonca i s etikou. Jednoducho s kultúrou spoločnosti. Dovoľte mi teraz, aby som Vám predložil svoj názor na súvis vedy a kultúry spoločnosti. A pretože som fyzikom na technickej škole, ťažiskom mojich úvah je súvis fyzikálneho poznania a techniky.

Rôzni ľudia môžu pod jedným a tým istým slovom rozumieť odlišné veci, preto je rozumné na začiatku vymedziť význam jednotlivých slov.

#### Čo je (fyzikálne) poznanie?

Pod **poznaním** (fyzikálnym poznaním) rozumiem vedomosti o tom, ako *beží svet* (svet *vecí*), ak sa jedná o fyzikálne poznanie). To znamená vedomosti ktoré umožňujú predvídať čo sa stane, keď nastanú isté okolnosti. (V súvisi s tým uveďme, že pod termínom veda rozumieme súbor týchto poznatkov spolu s o znalosťou metód ktorými sa tieto poznatky získavajú.)

Popis čo najširšieho okruhu javov sa dá realizovať dvomi spôsobmi:

- Popísať priebeh čo najväčšieho počtu procesov pri čo najväčšom počte podmienok. Takéto poznanie možno označiť ako „*encyklopedické poznanie*“. Keď sa encyklopedické poznanie má týkať dostatočne širokého okruhu javov vyžaduje (takmer) nekonečne veľa dielčích poznatkov, pretože svet je (takmer) nekonečne rozmanitý.

- Často sa však udivujúco široká škála javov dá popísať pomocou malého počtu základných súvislostí (všeobecne platných zákonov). Taký spôsob popisu behu sveta môžeme označiť ako „*analytické*“, alebo „*kauzálné poznanie*“.

Historická cesta našej civilizácie bola cestou od encyklopedického k analytickému poznaniu. Vyznačovala sa redukciou počtu poznatkov (zákonov) potrebných k popisu istého okruhu javov.

Napríklad:

V antickej dobe sa vedelo, že rôzne „nebeské telesá“ sa pohybujú na oblohe podľa istých pravidiel. Na základe znalosti týchto pravidiel a parametrov cyklov a epicyklov jednotlivých planét sa dalo predpovedať na ktorom mieste oblohy bude príslušnú planétu v príslušnom čase vidieť. Ako súvisia parametre cyklov jednotlivých planét sa však nevedelo, v svetle vtedajších predstáv sa pohyby jednotlivých planét javili ako nezávislé.

Na začiatku novoveku sa výpočet polohy planét „zjednotil“ – ukázalo sa, že pre výpočet polohy všetkých planét platia tie isté zákony (Keplerove zákony).

A netrvalo dlho, kým prišiel Newton so zákonmi dynamiky a gravitačným zákonom. Z týchto zákonov Keplerove zákony pre pohyb planét vyplynuli. Ale z Newtonových zákonov vyplynuli nie len zákony pohybu planét i popis pohybov všetkých telies v gravitačnom poli Zeme – t.j. balistika (včítane voľného pádu), ako i „kozmickej balistiky“ (napr. kritické kozmické rýchlosti) a riešenie celého radu ďalších problémov. Toto „nové poznanie“ umožnilo popis všetkých javov mechaniky.

Iný príklad:

Coulomb objavil spôsob ako sa dá určiť sila pôsobiaca medzi dvomi bodovými elektrickými

nábojmi. Potom Ampér našiel spôsob výpočtu sily, ktorou pôsobí magnetické pole na vodič ktorým preteká elektrický prúd, Biot a Savart zistili, aké je magnetické pole v okolí prúdovodiča, Faraday našiel zákon elektromagnetickej indukcie ...

A potom prišiel Maxwell, ktorý všetky dovtedajšie poznatky o elektrických a magnetických javoch zhrnul do štyroch rovníc:

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(\vec{D}) &= \rho & \operatorname{div}(\vec{B}) &= 0 \\ \operatorname{rot}(\vec{E}) &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \operatorname{rot}(\vec{H}) &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{aligned}$$

Prirodzene, že ešte je treba vedieť, čo znamená  $E$ ,  $D$ ,  $B$  a  $H$  (definíciu jednotlivých veličín), že  $D = E + P$  a podobne. Ale odmena je dostatočná - je ňou popis všetkých dovtedy známych „elektrických“ javov. A navyše, v týchto rovniciach je obsiahnutý i popis mnohých nových javov. Napríklad existencie elektromagnetických vln, ktoré sa dovtedy nepoznali. A keď Hertz experimentálne dokázal existenciu týchto vln a ukázalo sa, že ich rýchlosť je taká istá, ako z astronomických meraní určená rýchlosť šírenia sa svetla, zostal vedecký svet v šoku – svetlo je elektromagnetická vlna! To znamená že z Maxwellových rovníc vyplýva nie len zákon Coulombov, Ampérov a podobne, ale i celá (skoro celá) optika! Zákon odrazu, zákon lomu, Fresnelove zákony, polarizácia svetla, interferencia svetla ...

Z uvedených príkladov môže byť zrejmé, aký rozdiel je medzi encyklopedickým a analytickým (kauzálnym) poznaním.

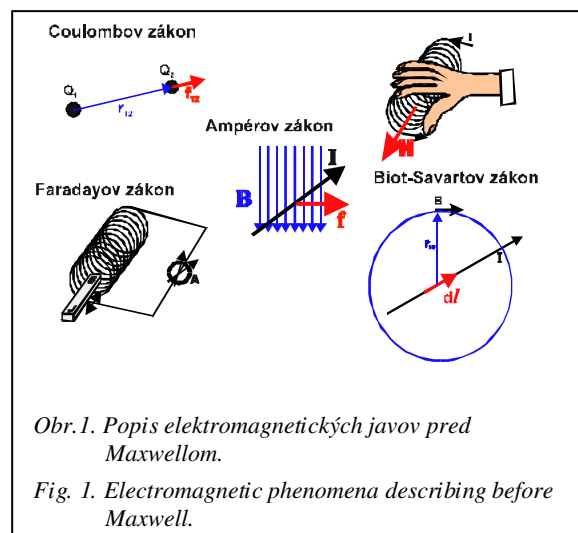
### Čo je technika?

Kým prírodné vedy znamenajú poznanie „ako beží svet“, technické vedy (podľa môjho chápania techniky) znamenajú poznanie toho „ako sa dajú vytvoriť (nové) veci“.

Pri tvorbe vecí sa dá postupovať rôzne, ale iba cestami ktoré sú vymedzené zákonmi prírody. Pretože zákony prírody sa jednoducho porušiť nedajú. Časť zákonov prírody prírodné vedy už poznajú. Takže je dobre ak ten kto hodlá tvoriť veci, pozná cesty ktoré sa dajú použiť. Je dobre keď sa nebude pokúšať o cesty ktoré neexistujú. A čím lepšie bude poznať zákony prírody (prírodné vedy), tým jasnejšie bude vedieť odlíšiť cesty ktorými sa dá a ktorými sa nedá postupovať. Avšak dať technikovi dostatočný prehľad o prírodných zákonoch „encyklopedickým“ spôsobom by znamenalo neznášanlivosťnú bázu poučiek

a pravidiel. Z toho dôvodu je nutné dať technikom čo najlepšie analytické znalosti prírodných vied. Najmä fyziky, ak sa jedná o inžinierov elektrotechniky, alebo strojárrov (a znalosti chémie a biológie ak sa jedná o chemikov, potravinárov a podobne).

Výuka remesiel bola (a v istej miere i je) založená na tom, že sa učili postupy, ako sa čo robí. Bolo to



Obr.1. Popis elektromagnetických javov pred Maxwellom.

Fig. 1. Electromagnetic phenomena describing before Maxwell.

primerané v období rozkvetu remesiel, kedy pracovné postupy bez väčšej zmeny pretrvávali dlhé desaťročia, takže „encyklopedické znalosti“ potrebné k prevádzke remesla sa v priebehu života majstra nemenili (menili málo). Dnes je lepšie technikov vybaviť analytickými vedomosťami, analytickým poznaním.

Avšak analytické poznanie nie je poznaním „zadarmo“. Vyžaduje znalosť matematiky ktorá je „rečou“ prostredníctvom ktorej sa tie zákony formulujú. Je tomu tak preto, lebo vzťahy medzi vecami sa (v prevládajúcej väčšine prípadov) dajú kvantifikovať, vyjadriť číslami. A podliehajú prísnej logike. Tej logike, z ktorej vychádza matematika. Pre toho kto nepozná túto reč sú Maxwellove zákony rovnako užitočné ako pre mňa čínska poézia.

### Význam fyziky pre techniku

V priebehu vývoja našej civilizácie sa z pôvodnej „vševedy“ – filozofie – vydělili jednotlivé časti ako samostatné vedy. Tak i prírodné vedy vznikli „odštiepením sa“ od filozofie. Tento proces sa neskôr odohral i v jednotlivých prírodných vedách. Odštiepením sa niektorých silne rozvinutých disciplín vznikli technické disciplíny. Ale to neznamená že technické disciplíny sa stali „samostatnými“, nezávislými od svojich koreňov.

Počas nášho štúdia na Prírodovedeckej fakulte sme mnoho prednášok z matematiky absolvovali spolu

so študentmi matematiky. Raz nám jeden z učiteľov (prof. Šalát) povedal:

Fyzici musia vedieť matematiku lepšie ako matematici. Pretože ak sa matematik bude venovať napríklad geometrii, neznalosti z algebry preňho nebudú znamenať katastrofu. Ale fyzik nikdy nevie ktoré partie matematiky bude potrebovať, tak sa musí učiť všetko.

Uvedený bonmot profesora Šaláta môžeme parafrázovať: technik musí poznať fyziku (prírodné vedy) lepšie než fyzik, pretože nevie ktoré partie z fyziky bude potrebovať.

Samozrejme nechcem predchádzajúci výrok absolutizovať. Ale pravdou je, že v čím väčšom okruhu javov sa bude vedieť technik orientovať, tým ľahšie bude môcť nachádzať realizovateľné cesty tvorby vecí. Nakoniec pri zrode „techniky“ si jej tvorcovia uvedomovali jej súvis s vedou – svedčí o tom i názov ktorý technike dali – grécke slovo  $\tau\epsilon\chi\upsilon\eta$  (techné) znamená „veda“ a „umenie“.

Technika v tej najcennejšej podobe je tvorba nových vecí. A v tejto oblasti je znalosť fyzikálnych princípov ešte užitočnejšia než pri „zabehnutej“ výrobe (ktorá tiež patrí medzi úkony techniky). Môže sa vyskytnúť námietka, že iba malá časť absolventov technických škôl bude pracovať na vývoji nových vecí, takže netreba všetkých študentov pripravovať na takú náročnú úlohu. Voči nej možno vysloviť hneď dve protinámietky:

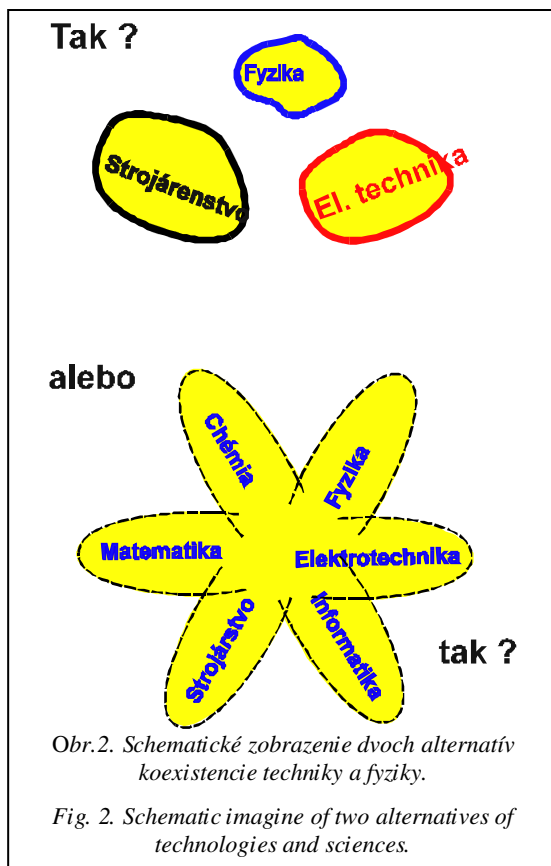
- Proces výchovy tvorivosti je taký náročný, že zďaleka nie všetci absolventi dosiahnu zručnosť vo vynachádzaní v dostatočnej miere, takže počet tých ktorí budú pripravení na uplatnenie sa v inovačnom procese nebude rovný počtu všetkých absolventov.
- Vývoj techniky je taký rýchly, že životnosť predmetov výroby je v súčasnosti niekoľko rokov. Kým v minulosti sa jeden a ten istý výrobok vyrábal desaťročia, dnes nanajvýš roky. To znamená, že približne desaťnásobne sa zvyšuje počet ľudí ktorí sa venujú vývoju. A keď započítame ešte pokles obsluhy potrebnej pri sériovej výrobe, pomer vývojových pracovníkov a pracovníkov vo výrobe vyjde ešte väčší.

Kategória „inovácie“ sa neobmedzuje iba na výrobky. Medzi inovácie je treba započítať i vývoj nových technológií a to i vtedy, keď sa týkajú tradičných produktov alebo služieb.

Frekvencia inovácií v priebehu vývoja civilizácie rastie. Súvisí to s rastom produktivity v dôsledku čoho rastie počet ľudí uvoľňovaných do sféry služieb a i do sféry vývoja a bádania.

V dôsledku toho „vedomosti ľudstva“ rastú viac ako exponenciálne. Udáva sa, že kým na zdvojnásobenie vedomostí ktoré ľudstvo malo v roku 1750 bolo potrebné 150 rokov (t.j. do r.1900), na ďalšie zdvojnásobenie vedomostí stačilo nasledujúcich 50 rokov a koncom minulého storočia sa vedomosti zdvojnásobovali približne každých 5 rokov. Predpokladá sa, že okolo r 2020 na zdvojnásobenie vedomostí budú stačiť približne 3 mesiace. Takže vedomosti o tom ako treba postupovať pri výrobe niečoho budú za 5 až 10 rokov zastaralé.

Prudký nárast vedomostí ľudstva sa prejavuje na zmenách a náraste techniky. Vidieť to i na osnovách vysokých škôl – na vzraste počtu hodín odborných (technických) predmetov a následne na poklese hodín fyziky (a matematiky). Avšak ak založíme výuku technických disciplín na tom „ako sa to v súčasnosti robí“, z dnešného absolventa sa za niekoľko rokov stane nevzdelaný laik. Z toho dôvodu je potrebné výuku technických disciplín založiť na znalosti princípov. To jest na znalosti prírodných vied. Neznamená to, že sa technik nemá učiť stav súčasnej techniky. Mal by sa ale učiť ako sa súčasná technika vytvorila, ako jej existencia vyplýva z princípov prírody. Súčasný stav techniky by sa mal spoznávať ani nie tak kvôli samotnej znalosti súčasnej techniky, ale aby sa na ňom študenti naučili ako aplikovať všeobecné princípy pri tvorbe nových postupov a nových výrobkov.



Počul som námičku, že i prírodovedné poznatky sa menia. Áno menia sa, ale nie tak rýchlo ako technika a menia sa inak – dopĺňajú sa, spresňujú sa. Niektorí si myslia, že spoznaním teórie relativity sa poprela klasická mechanika. Nepoprela sa, iba sa ukázali hranice jej platnosti. A ukázalo sa, že takmer vo všetkých praktických prípadoch je klasická mechanika pre popis technických javov postačujúca. (Jedným z mála prípadov keď k „technickému“ popisu pohybu je potrebné použiť relativistickú mechaniku je pohyb volných elektrónov v elektrickom poli – v elektrónkach.) Súvisí to s ich enormne malou hmotnosťou.) Navyše vznik novej prírodovednej disciplíny spravidla vedie k vzniku novej technickej disciplíny. Bolo to tak pri rozvoji poznania termodynamiky (parné motory), nauky o elektrine a magnetizme (vznik elektrotechniky) a v modernej dobe rozpracovanie teórie pevných látok umožnilo vznik mikroelektroniky. A ďalšie disciplíny vychádzajúce z kvantovej mechaniky sa vyvíjajú (napríklad nanotechnológia, alebo kvantová informatika).

Súvis fyziky a techniky ale netreba hľadať iba vo veľkých objavoch. Existuje i v malom, i pri hľadaní súvislostí v oblastiach, ktoré už sú principiálne popísané, ale niektoré detaily tých procesov zostali nepopísané. A i tieto malé dielčie poznatky môžu znamenať vylepšenie dielčích technických riešení. Môžem to tvrdiť na základe vlastnej skúsenosti pretože i pri práci našej skupiny sa podarilo nájsť niektoré detaily, ktoré sú „nové“ a v istej oblasti umožňujú „technický pokrok“.

V súvisi s vyšetrovaním interferencie modov v optických vláknach, sa odohrala jedna drobná príhoda, ktorá to ilustruje: Prvé získané poznatky o interferencii modov boli ako zaujímavosť uvedené v dizertačnej práci ktorá sa v tom čase pripravovala. V rozprave pri obhajobe sa docent Hrnčiar spýtal načo to je dobré. Dizertant neodpovedal tak som odpovedal ja, že pre mňa je dôležité už to, že to vieme. Naprosto netechnický prístup. Ale v priebehu ďalších niekoľkých rokov sa nám (Martinček, Káčik, Turek ...) pomocou tej interferencie modov podarilo rozšíriť možnosti určovania niektorých parametrov optických vlákien.

## Prírodné vedy a etika

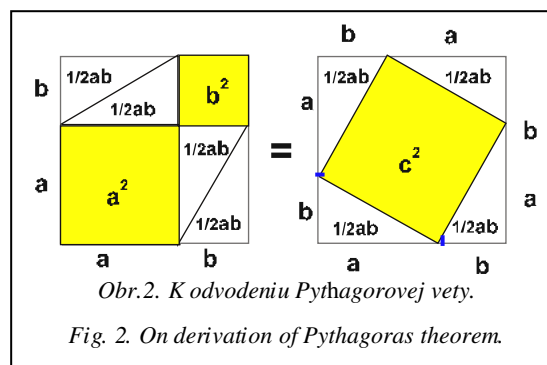
Etika je súbor pravidiel spolužitia členov spoločnosti. Pravidiel určujúcich správanie sa jedného člena spoločnosti k druhému. Ale i pravidiel správania sa k obklopujúcejmu svetu. Tieto pravidlá obmedzujú správanie sa ľudí. Obmedzujú „bezbrehú voľnosť“ jedincov. A umožňujú existenciu spoločnosti.

Svet vecí je zviazaný istými (bezpodmienečne platnými) zákonmi. Vzdelanému človeku ich

znalosť umožňuje „úspešné prežitie“ pretože ich znalosť minimalizuje počet jeho neúspechov. A u ľudí, u ktorých poznanie týchto zákonov je natoľko hlboké, že sa stáva súčasťou ich prirodzenosti, je obmedzenie vyplývajúce zo zákonov prírody samozrejmosťou. Poznanie zákonov behu sveta tak u nich uľahčuje pochopenie ich začlenenia do spoločnosti a tým formuje i ich správanie – ich etiku.

Vieme, že platí Pythagorova veta. Vieme, že súčet štvorcov ... Ale keď budeme úprimní, musíme povedať, že pre každodenný život (pokiaľ nie sme technikmi) je jedno, že ten štvorec je súčtom iných dvoch štvorcov.

Napriek tomu si myslím, že Pythagorova veta musí zostať v osnovách matematiky na základných



školách. A že by sa mala venovať väčšia pozornosť jej pochopeniu. Tak aby si deti už v útlom veku uvedomili, že svet má isté neoblomné pravidlá. Že Pythagoras to pravidlo **nevytvoril, ale našiel**. Vedomie že existujú pravidlá ktoré sa **nedajú** obísť, by sa malo stať samozrejmosťou myslenia ľudí. Aby sme si uvedomovali, že nemôžeme robiť čo sa nám zachce. V tom vidím podiel matematiky na formovaní etických noriem. A na druhej strane jej poznanie by malo viesť k tomu, aby si (ľudia) uvedomili **silu intelektu** ktorá umožňuje poznať pravidlá sveta. Malo by to viesť k hrdosti, že ten intelekt vlastníme. A hrdý človek nerobí podrazy.

Podobnú funkciu ako má matematika pri formovaní chápania sveta a chápaní *mojej* polohy v ňom, má i fyzika. Aby sa tak stalo je treba pochopiť, že fyzikálne zákony sú zákonmi ktoré vyjadrujú kauzálne súvislosti javov prebiehajúcich v prírode. Zo znalosti (už i základov) fyziky by malo byť zrejmé, že procesy sú sledom príčin a následkov. Žiaľ málokedy sa fyzika učí tak, aby sa vedomie tejto kauzálnosti sveta prenieslo do myslenia ľudí.

Vedomie kauzálnosti by malo byť natoľko súčasťou myslenia, aby ľudia **cítili** že i ich činy majú dôsledky.

Je paradoxné, že civilizácie, ktorých vedomosti „exaktných“ disciplín boli relatívne malé, viac vnímali súvis ich konania so stavom obklopujúcej prírody než naša „stredomorská“ civilizácia, ktorá v poznaní exaktných vied vynikala. Vidíme to

v malom i vo veľkom. Na dôsledkoch ťažby cédrov v predhistorickej dobe v Libanone, i na výsadbe smrekových monokultúr vo Vysokých Tatrách pred sto rokmi. I na bezstarostnosti s ktorou ľudia odhadujú umelohmotné fľaše a sáčky v parkoch i v lesoch a na ľahkosti s akou stavajú továrne ktoré splodinami zamorujú nie len ich bezprostredné okolie.

Neviem posúdiť v akej miere to vyplýva z nepochopenia dôsledkov správania sa a v akej z neochoty obmedziť svoje správanie v záujme celospoločenského prospechu. Ale tieto eventuality sa líšia iba dĺžkou reťazca v rámci ktorého je potrebné zvážiť dôsledky aby sme videli výsledok našich skutkov. K tomu aby sme ten reťazec zvládli potrebujeme ochotu riešiť ho, ale i vedomosti o tom, ako jednotlivé ohnivká reťazca spolu súvisia.

### Poznanie má i estetickú hodnotu

Kategórie estetiky sa asi nedajú definovať, nevychádzajú z logiky, vychádzajú z pocitov. Preto si myslím že najlepšie vyjadrím to, čo mám na mysli, príkladom.

Pri vyšetrovaní fotorefraktívneho javu v  $\text{LiNbO}_3$  sme potrebovali vypočítať ako difúzia ovplyvňuje rozloženie elektrónov pri nehomogénnom osvetlení vzorky. Pokiaľ sa predpokladá homogénne osvetlenie v úzkom pásiku a v jeho okolí nulová intenzita, ľahko sa nájde, že riešenie sa dá vyjadriť pomocou exponenciálnych funkcií. Avšak pri hľadaní riešenia s iným rozložením (vo všeobecnosti vyjadrené funkciou  $f(x)$ ) sme sa dlhšiu dobu bezvýsledne namáhali – až kým sme si neuvedomili, že akékoľvek (jednorozmerné) rozloženie intenzity svetla sa dá vyjadriť súčtom „pásikových“ osvetlení. Keď sa táto jednoduchá myšlienka vyjadrí príslušným matematickým formalizmom, po relatívne jednoduchých úpravách dostaneme pre rozloženie hustoty elektrónov  $n(x)$  výraz

$$n(x) = \int f(x_0) G(x - x_0) dx_0 ,$$

kde  $G(x-x_0)$  je tzv. Greenova funkcia a je to v podstate nám už známe riešenie pri (nekonečne tenkom) pásikovom osvetlení, ktorého poloha je v mieste  $x_0$ .

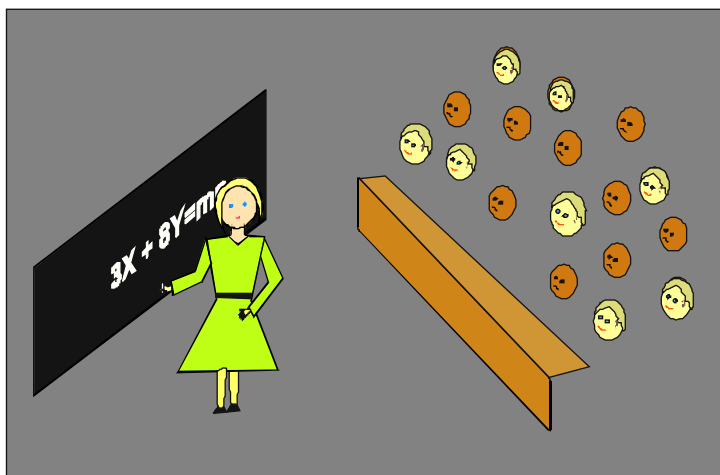
Eleganciu, dokonca i istú noblesnosť možno vidieť v stručnosti a obecnosti tohto vyjadrenia. I keď elegancia je pojem z kategórie citov a tie môžu byť u rôznych ľudí rôzne.

Príklady „elegancie“ sa dajú nájsť i v oblasti nižšej matematiky. Môžem to ilustrovať príhodou, pri ktorej som si prvýkrát v živote uvedomil „estetickú hodnotu poznania“.

Bolo to v tercii keď sme sa začali učiť rovnice o dvoch neznámych. Profesorka Áčová (Levice v roku 1948) ukazovala, že keď z jednej rovnice vyjadríme  $y$  pomocou druhej neznámej a ostatných čísel vystupujúcich v rovnici a keď toto vyjadrenie dosadíme do druhej rovnice za všetky  $y$ psilony, vznikne rovnica v ktorej už  $y$ psilony nestrašia. A takú rovnicu kde je len jedna neznáma už vieme riešiť.

Porozumel som tomu a zdalo sa mi, že to je **vtipné**, alebo možno povedať i **pekne**.

Kiež by bolo viac takých učiteľov ktorí dokážu



vyložiť látku tak, aby sa dal vidieť **vtip** predkladaného riešenia, prípadne jeho **krása**. A v tom najlepšom prípade aby bolo vidieť **krásu poznania**. Myslím si že práve to je najdôležitejším poslaním učiteľov. Učiteľov na všetkých stupňoch škôl, nie len v nižších triedach gymnázií.

Záverom mi dovoľte poďakovať pánu dekanovi doc. Ing. J. Michalíkovi, CSc za česť ktorú mi preukázal pozvaním na túto prednášku, všetkým prítomným poďakovať za pozornosť a zaželať fakulte aby sa jej učiteľom v čo najväčšej miere darilo študentom predkladať látku jednotlivých predmetov tak, aby videli krásu poznania.